

PCT: DB

(05)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑩ DE 195 04 047 C 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 02 F 2/02
G 02 F 1/39
H 04 N 9/31
// H01S 3/16, H04N
9/31

②1 Aktenzeichen: 195 04 047.3-51
②2 Anmeldetag: 8. 2. 95
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 25. 7. 96

DE 195 04 047 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦2 Erfinder:

Halldorsson, Thorsteinn, Dipl.-Phys., 81925
München, DE; Königer, Max, Dr., 81479 München,
DE; Mehnert, Axel, Dipl.-Ing., 81377 München, DE;
Peuser, Peter, Dr., 85521 Riemerling, DE; Reithmeier,
Günter, 85840 Putzbrunn, DE; Schmitt, Nikolaus,
Dipl.-Phys., 80797 München, DE; Zeller, Paul,
Dipl.-Ing., 81827 München, DE; Seilmeier, Alois,
Prof., 95448 Bayreuth, DE; Graener, Heinrich, Dr.,
95488 Eckersdorf, DE

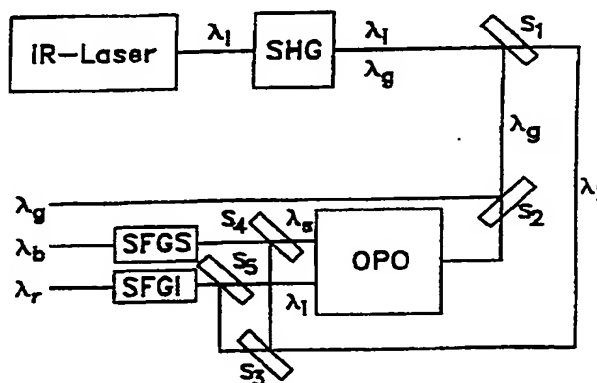
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 43 08 797 C1
DE 42 19 169 A1
WO 91 12 556

Appl. Phys. Lett. 58 (12), 25.3.91, S. 1227-1229;
Appl. Phys. Lett. 58 (9), 26.2.90, S. 811-813;
Optics Letters, Oct. 15, 1990, Vol. 15, No. 20,
S. 1129-1131;
J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 10, No. 11, Nov. 1993,
S. 2151;

⑤4 Lasersystem für Farbbildprojektion

⑤7 Lasersystem zur Herstellung der geeigneten rot/grün/
blauen Strahlen für eine allgemeine Farbbildprojektion mit
einem einzigen modengekoppelten IR-Dauerstrichlaser der
seltenen Erden oder Übergangsmetalle in dem Wellenlän-
genbereich 850-1320 nm, wobei die IR-Strahlung möglichst
vollständig zur Herstellung dieser Farben durch Frequenz-
konversion verwendet wird, indem nach der Frequenzver-
dopplung eines Teils der IR-Welle diese frequenzverdoppel-
te Strahlung wiederum zum Teil direkt für die Bildprojektion
benutzt wird, und ein weiterer Teil der frequenzverdoppelten
IR-Laseremission als Pumpstrahl für einen optisch paramet-
rischen Oszillator/Generator verwendet wird, der geeignete
Zwischenfrequenzen als Signal- und Idlerwelle herstellt, die
nach einer Summenfrequenzbildung mit dem übrigen Teil
der IR-Welle in je einem nichtlinearen Medium je eine der
beiden übrigen Farben erzeugt.



DE 195 04 047 C 1

Die Anmeldung betrifft ein Lasersystem gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 2. Ein solches Lasersystem ist aus der WO 91/12556 bekannt. Hier wird die Herstellung von geeigneten rot/grün/blauen Strahlen mit mindestens einem, hier sind es zwei, IR-Dauerstrichlaser (Laserdiode) in dem Wellenlängenbereich 850–1320 nm beschrieben, in dem die Farben unter Anwendung von Frequenzverdopplung und Summenfrequenzbildung gewonnen werden und ein optischer parametrischer Oszillator zur Frequenzkonversion eingesetzt wird.

Aus der DE 43 06 797 C1 ist ein Lasersystem zur Herstellung der geeigneten rot/grün/blauen Strahlen für eine allgemeine Farbbildprojektion mit mindestens einem, hier drei, Laser bekannt.

Aus Appl. Phys. Lett. 58(12), 25.03.91, S. 1227–1229, ist ein Lasersystem zur Herstellung der geeigneten rot/grün/blauen Strahlen für insbesondere hochauflösende Laserdrucker mit mindestens einem, hier zwei, IR-Dauerstrichlaser (Laserdiode) in dem Wellenlängenbereich 850 bis 1320 nm bekannt, in dem die Farben durch Frequenzkonversion, und zwar unter Anwendung von Frequenzverdopplung und Summenfrequenzbildung gewonnen werden.

Aus Appl. Phys. Lett. 56 (9), 26.02.90, S. 811–813, ist ein Lasersystem zur Herstellung der geeigneten rot/grün/blauen Strahlen für eine allgemeine Farbbildprojektion mit einem einzigen Laser bekannt.

Aus Optics Letters, Oct. 15, 1990, Vol. 15, No 20, S. 1129–1131, ist es bekannt, sowohl die Signalwelle als auch die Idlerwelle eines OPO's zu verwenden und aus J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 10, No. 11, Nov. 93, S. 2151 ist es bekannt, den Abstimmbereich einer Lichtquelle durch Kombinieren von Frequenzverdopplungs- und /oder Summenfrequenzbildungsschritten mit stimulierter parametrischer Wechselwirkung zu vergrößern. Optische parametrische Oszillatoren (OPO's) sind beispielsweise aus der DE 42 19 169 A1 bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Lasersystem der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß es eine hohe Strahlqualität mit einem Strahldurchmesser \times Strahldivergenz-Produkt nahe der Beugungsgrenze und bestimmte Farben im sichtbaren Wellenlängenbereich (RGB) aufweist, die eine gute Überdeckung des Farbempfindlichkeitsbereiches des menschlichen Auges durch Farbmischung ermöglichen, eine mittlere optische Leistung von einigen Hundert Milliwatt bis einige Watt besitzt und durch kleine Bauweise mit einem guten Wirkungsgrad optimiert ist. Es sollen alle 3 Farben in einem einzigen Laser mit den genannten Anforderungen erzeugt werden.

Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1 und 2 aufgezeigten Maßnahmen gelöst. In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben und nachfolgend an Ausführungsbeispielen beschrieben.

In diesem Konzept bildet ein effizienter IR-Dauerstrichlaser, der Seltenerd- oder Übergangselemente verwendet, die einzige größere aktive elektrooptische Baugruppe des Systems. Zum Erreichen der geforderten langen Lebensdauer und hohen Effizienz wird vorgeschlagen, Halbleiterlaserdioden zur Anregung des IR-Dauerstrichlasers, der Seltenerd- oder Übergangselemente verwendet, zu benutzen.

Die RGB (Rot, Grün, Blau)-Nutzstrahlen werden aus der IR-Emission des IR-Dauerstrichlasers, der Seltenerd- oder Übergangselemente verwendet, durch eine einfache passive nichtlineare Frequenzkonversion abgeleitet. Durch die gemeinsame Anregungsquelle für alle Farben wird die Komplexität des Systems minimiert. Mit dem intermittierenden IR-Dauerstrichlaser; der Seltenerd- oder Übergangselemente verwendet und hoh Pulsspitzenleistung aufweist wird eine hohe Effizienz der Frequenzkonversion erreicht. In dem OPO können die Zwischenfrequenzen und damit auch die Wellenlänge der Nutzstrahlung zur Farbanpassung kontinuierlich abgestimmt werden.

Die Figur zeigt eine schematische Darstellung einer möglichen Ausführungsform des Lasersystems. Die grüne Strahlung im Wellenlängenbereich 510–550 nm wird durch eine direkte Frequenzverdopplung der Strahlung eines IR-Festkörperlasers, wie z. B. des wohlbekannten Nd:YLF oder Yb:YAG, gewonnen. Aus der Emissionswellenlänge $\lambda_1 = 1047$ nm (z. B. für Nd:YLF) entsteht die geeignete Linie bei $\lambda_g = 524$ nm. Nach dem Durchgang durch den Frequenzverdoppler (SHG) besteht der Strahl aus einem Gemisch der beiden Wellenlängen der IR Strahlung und der grünen Strahlung.

Mit einem dichroitischen Strahlteiler (S1) werden beide Strahlen unterschiedlicher Wellenlänge voneinander getrennt. In einem weiteren Strahlteiler (S2) wird dann der grüne Nutzstrahlanteil abgespalten. Der zweite Teil des grünen Strahles, der als Pumpstrahl der Wellenlänge λ_g für den OPO dient, wird dort mit hoher Effizienz in einen Signalstrahl der Wellenlänge λ_s und einen Idlerstrahl der Wellenlänge λ_i konvertiert. Durch Wahl einer geeigneten Kristallorientierung und/oder Kristalltemperatur des nichtlinearen Kristalls im OPO können die Ausgangswellenlängen λ_s und λ_i (unter Berücksichtigung der Energierhaltungsbedingung $\omega_g = \omega_s + \omega_i$) festgelegt werden.

Der IR-Strahl des Lasers wird mit einem Strahlteiler (S3) aufgeteilt, die beiden Teilstrahlen anschließend mit Hilfe zweier dichroitischer Spiegel (S4 und S5) jeweils mit den Signal- und Idlerstrahl überlagert und anschließend in nichtlinearen Kristallen (SFGS und SFGI) mit hoher Effizienz gemischt.

Die Frequenzen ω_s und ω_i werden so gewählt, daß die Summe ihrer Frequenzen mit der Frequenz der Grundwelle des IR-Lasers ω_1 die Frequenzen der benötigten Farben blau, $\omega_b = \omega_1 + \omega_i$ bzw. rot $\omega_r = \omega_1 + \omega_s$ in den geforderten Wellenlängenbereichen ergeben.

Mit der Verwendung eines Nd:YLF-Lasers mit der IR-Grundwellenlänge $\lambda_1 = 1047$ nm könnten mit diesem Aufbau z. B. die folgenden geeigneten RGB-Wellenlängen hergestellt werden:

$$\lambda_r = 620 \text{ nm}$$

$$\lambda_g = 524 \text{ nm}$$

$$\lambda_b = 450 \text{ nm}$$

Die Signal- und Idlerwellenlängen des OPO's waren in diesem Falle:

$$\lambda_s = 789 \text{ nm}$$

$$\lambda_i = 1520 \text{ nm}$$

Als weitere Ausführungsform n dieser Erfindung ist es möglich, mit einer Laserwellenlänge in einem kurzwelligeren Bereich (860–920 nm) als erstes die blaue Wellenlänge im Wellenlängenbereich 430–460 nm durch Frequenzverdopplung zu erzeugen und die restliche Laserwelle zum Pumpen des OPO's zu benutzen und dann

anschließend die übrigen Farben grün und rot durch Frequenzmischung der IR-Laserstrahlung mit der Signal- bzw. Idlerstrahlung wie vorher herzustellen.

Eine weitere mögliche Variante wäre die Verwendung der IR-Laserstrahlung zum Pumpen des OPO's und Frequenzmischung der frequenzverdoppelten bzw. verdreifachten IR-Strahlung mit der Signal- bzw. der Idlerstrahlung zur Erzeugung der zusätzlichen zwei Farben.

Der Bedarf an optischer Leistung bzw. die Gesamteffizienz lassen sich für ein derartiges System im praktischen Fall wie folgt abschätzen: Mit 40 W mittlerer Leistung bei $\lambda_1 = 1,047 \mu\text{m}$ lassen sich 12 W mittlere Leistung bei $\lambda_g = 524 \text{ nm}$ erzeugen. Ein Wirkungsgrad von 30% für die Frequenzverdopplung wird in lampengepumpten, modengekoppelten Hochleistungslasern erreicht. Wirkungsgrade bis zu 50% in diodengepumpten Systemen erscheinen aufgrund verbesserter Strahlqualität möglich und wurden mit niedrigeren Leistungen demonstriert (G.P.A. Malcolm, M. Ebrahizade, A.I.Ferguson "Efficient Frequency Conversion of Mode-Locked Diode-Pumped and Tunable All-Solid-State Laser Sources", IEEE J. Quant. Electr. 28 (1992) 1172). Photonenkonversionseffizienzen von jeweils 30% in den Signal- und Idlerstrahl werden in einem OPO erwartet, so daß ca. 2,6 W bzw. 1,4 W bei den Wellenlängen $\lambda_s = 789 \text{ nm}$ und $\lambda_i = 1520 \text{ nm}$ zur Verfügung stehen. Die Summenfrequenzzeugung mit der restlichen, sehr intensiven Strahlung der Wellenlänge λ_1 (20–30 W) erlaubt eine Quanteneffizienz von ca. 30%, was zu Ausgangsleistungen von 1–2 W für die rote und blaue Nutzstrahlung führt.

Der optische Wirkungsgrad bei der Konversion der Pumpdiodenstrahlung in die primäre IR-Laserstrahlung beträgt heute typisch 30–40%, der elektrisch-optische Wirkungsgrad der Pumpdiode ist 30–50%. Der gesamte elektrisch-optische Wirkungsgrad von einigen Prozent dürfte damit erreichbar sein.

Als nichtlineare Kristalle für die Frequenzverdopplung, im OPO und für die Summen- bzw. Differenzfrequenzzeugung können prinzipiell alle effizienten nichtlinearen Materialien wie z.B. Kalium Titanyl Phosphat (KTP) oder Beta Barium Borat (BBO), Lithium Triborat (LBO), Kalium Titanyl Arsenat, Kalium- und Lithium Niobat oder auch Lithium Jodat eingesetzt werden. Prinzipiell kommen auch Polymere mit hohen nichtlinearen Koeffizienten in Frage.

Grundsätzlich können die hier beschriebenen Frequenzumwandlungsprozesse sowohl mit Laserstrahlung im Dauerstrich als auch mit gepulster Laserstrahlung realisiert werden. Da die Effizienz dieser Prozesse in erster Näherung proportional der Leistungsdichte der Strahlung ist, besteht hier ein erheblicher Vorteil in der Verwendung von gepulsten Systemen mit hoher Pulsspitzenleistung, wie sie modengekoppelte Laser bieten.

Nach dem heutigen Stand der Technik ist das Erreichen einer vergleichbaren Gesamteffizienz in Dauerstrichsystemen erheblich schwieriger, komplexer und kostenintensiver.

Bei der Verwendung von gepulsten Systemen zur Bildprojektion mit der schnellen Ablenkung des Laserstrahles über die Bildfläche und der gleichzeitigen Modulation der Strahlintensität der drei kollinearen RGB-Strahlen ist es notwendig, daß die Pulswiederholfrequenz des Lasers mindestens gleich oder höher ist als die Bildpunktfrequenz (Pixelfrequenz). Je nach eingesetztem Projektionsstandard liegt diese im Bereich von 10–100 MHz.

Für diese hohe Pulsfrequenz sind vor allem die modengekoppelten Dauerstrichlaser geeignet. Es kann sowohl eine aktive Modenkopplung, z. B. mit Hilfe von akustooptischen Modulatoren bzw. eine passive Modenkopplung mit geeigneten ausbleichbaren Materialien innerhalb des Resonators, zum Erreichen der hohen Pulsfrequenz eingesetzt werden. Mit einer optischen Länge des Resonators von L_0 ergibt sich als Pulswiederholfrequenz f des modengekoppelten Lasers:

$$f = c/2L_0$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum bezeichnet. Zum Erzielen von 100 MHz muß die optische Länge $L_0 = 150 \text{ cm}$ und von 1 GHz, $L_0 = 15 \text{ cm}$ sein. Die verwendete Pulswiederholfrequenz wird sich nach dem Anwendungsfall richten. Es wird aber vorteilhaft sein, die Pulswiederholfrequenz deutlich höher zu wählen als die Bildpunktfrequenz, damit eventuelle Frequenz-, Phasen- bzw. Intensitätsfluktuationen möglichst wenig die Qualität der Bildwiedergabe beeinflussen.

Als modengekoppelte IR-Laser für diese Anwendungen sind vor allem die diodengepumpten Laser der Seltenerdenergie wie Neodymium und Ytterbium oder Übergangsmetalle wie Titan oder Chrom geeignet. In Zukunft werden wahrscheinlich weitere Kandidaten für effiziente Dauerstrichlaser in dem besonders geeigneten Spektralbereich von 850–1320 nm zur Verfügung stehen. Für diese Anwendung kommen sowohl linear aufgebaute Kristalllaser, Ringlaser als auch Glasfaserlaser dotiert mit diesen laserfähigen Ionen in Frage.

Zur Frequenzverdopplung eignen sich Anordnungen, bei denen der gepulste Strahl direkt ohne weitere optische Hilfseinrichtungen in den Frequenzverdoppler-Kristall fokussiert wird. Bei modengekoppelten Lasern kann eine Effizienz der Frequenzverdopplung bereits bis 50% erreicht werden.

Externe Resonatoren können auch zur Verbesserung der Effizienz durch Erhöhung der Verweilzeit der IR-Welle im Frequenzverdoppler eingesetzt werden. Dafür eignen sich sowohl lineare Resonatoren als auch Ringresonatoren. Diese beiden Resonatorstrukturen können auch bei dem optisch parametrischen Oszillator eingesetzt werden. Die Summenfrequenz wird vorzugsweise in einem nichtlinearen Kristall ohne weitere optische Hilfsmittel erzeugt.

Zur Erhöhung der Effizienz sind auch Anordnungen in Betracht zu ziehen, bei denen einzelne Frequenzkonversionsschritte innerhalb eines Resonators (intracavity) stattfinden.

Patentansprüche

1. Lasersystem zur Herstellung von rot/grün/blauen Strahlen aus mindestens einem IR-Dauerstrichlaser des Wellenlängenbereichs 850 bis 1320 nm durch Frequenzkonversion, nämlich mindestens durch Frequenzmischung und entweder Frequenzverdopplung oder Frequenzverschiebung in einem optischen parametrischen Oszillator, dadurch gekennzeichnet, daß für eine allgemeine Farbprojektionsanordnung ein einziger modengekoppelter IR-Dauerstrichlaser, der Seltenerdenergieelemente oder Übergangsmetalle verwendet, eingesetzt wird und daß nach der Frequenzverdopplung eines Teils der IR-Strahlung diese frequenzverdoppelte Strahlung zum Teil direkt für die Bildprojektion benutzt wird, und ein weiterer Teil der frequenzverdoppelten

Strahlung als Pumpstrahlung für einen optischen parametrischen Oszillator (OPO) verwendet wird und der geeignete Zwischenfrequenzen als Signal- und Idlerwell herstellt, die nach einer Frequenzmischung mit dem restlichen Teil der IR-Strahlung in je einem nichtlinearen Kristall je eine der beiden übrigen Farben erzeugt.

2. Lasersystem zur Herstellung von rot/grün/blauen Strahlen aus mindestens einem IR-Dauerstrichlaser des Wellenlängenbereichs 850 bis 1320 nm durch Frequenzkonversion, nämlich mindestens durch Frequenzmischung und entweder Frequenzverdopplung oder Frequenzverschiebung in einem optischen parametrischen Oszillator, dadurch gekennzeichnet, daß für eine allgemeine Farbbildprojektion ein einziger modengekoppelter IR-Dauerstrichlaser, der Seltenerdelemente oder Übergangsmetalle verwendet, eingesetzt wird und daß nach der Frequenzverdopplung eines Teils der IR-Strahlung diese frequenzverdoppelte Strahlung zum Teil direkt für die Bildprojektion benutzt wird, daß die restliche, also nicht frequenzverdoppelte IR-Strahlung als Pumpstrahlung für einen optischen parametrischen Oszillator (OPO) verwendet wird und daß die restliche frequenzverdoppelte Strahlung mit der Signal- und der Idlerwelle des OPO's in je einem nichtlinearen Kristall durch Frequenzmischung die zwei zusätzlichen Farben erzeugt.

3. Lasersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Farben rot/blau/grün in jeweils den Wellenlängenbereichen 620—630 nm, 510—520 nm, 440—460 nm erzeugt werden.

4. Lasersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Leistung der einzelnen Strahlen rot/blau/grün je nach Anwendung, der erforderlichen Größe der Projektionsfläche, der Intensität der Hintergrundbeleuchtung und der erforderlichen Helligkeit der Bildfläche angepaßt ist.

5. Lasersystem nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsfrequenz des modengekoppelten Lasers mindestens gleich der verwendeten Bildpixelfrequenz der Bildprojektion ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

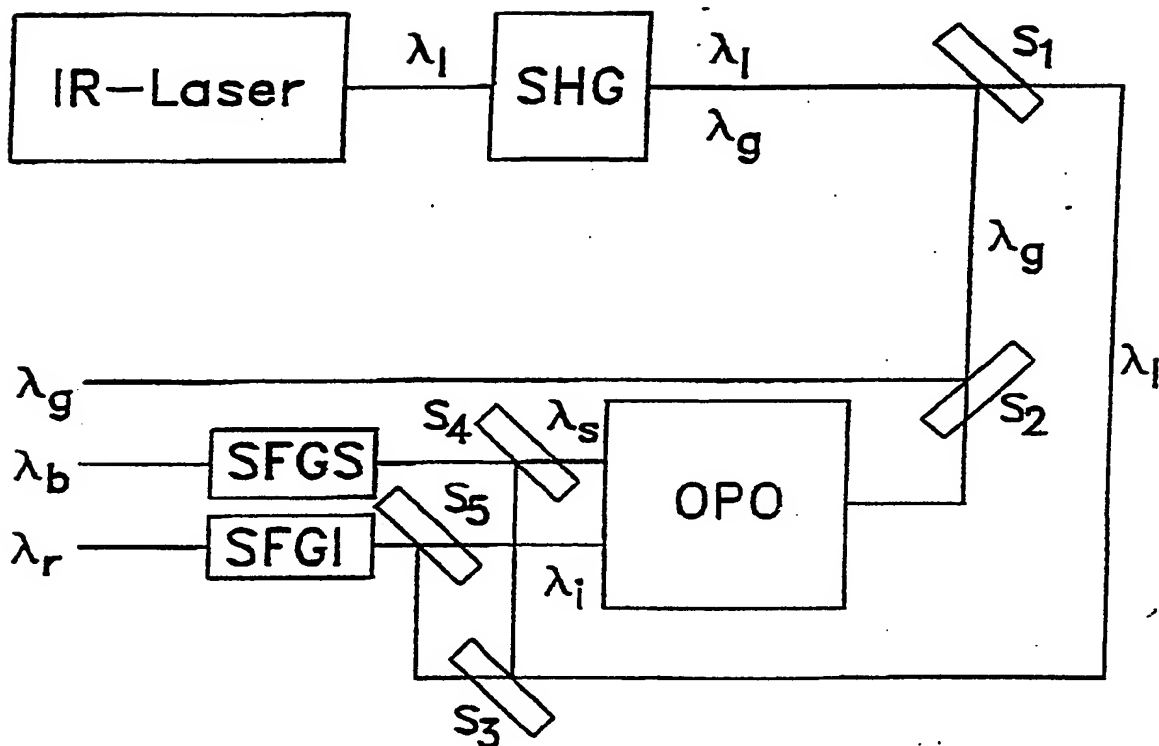


Fig. 1